

第1章

タイヤ空気圧を無線で運転者に知らせるモニタ・システムを開発する

――自動車へのMEMSセンサの応用

松下 靖

ここではMEMSセンサの応用事例として，自動車のタイヤ空気圧モニタ・システムを紹介する．タイヤの空気圧を測定し，低下すれば運転者に警告を出すというシステムである．本稿では，タイヤに直接，MEMS圧力センサを取り付けて空気圧を測定し，そのデータを無線でECUに送信する方式を取り上げる．タイヤに設置するため，電池駆動で，かつ，10年間駆動し続けるセンサ・モジュールが必要となる．（編集部）

現在，高度な車両制御システムやセーフティ系システムが自動車に標準装備されるようになり，センサの搭載数も増加しています．これに伴い，センサの低価格化も進んでいます．その結果，機械的センサから量産効果の期待できるシリコンMEMS（micro electro mechanical systems）センサへの移行が着実に進行しています．現在では，エア・バッグ・システム用加速度センサや車両の姿勢制御に用いる角速度センサなどでMEMS技術が導入されています．

「車載装置（または部品）」と言えば高い品質と信頼性が求められますが，MEMSセンサも例外ではありません．これは，人命にかかわる用途でありながら，コスト面の問題から冗長性を持たせることに限界があるためです．そこで，部品としてのセンサに求められるのは異常の通知機能です．つまり，センサが故障した場合，センサがみずから異常をECU（electronic control unit）に伝え，運転者に警告する機能です．運転者がシステムの異常を知ることは，とても重要なことです．

表1　直接式と間接式の比較

それぞれの方法にメリット（緑の部分），デメリット（オレンジの部分）がある．

性　能	直接式	間接式
精　度	10kPa以内	CIPの30%以内
複数タイヤの空気圧低減測定	可	不可
加速による影響	なし	あり
緩い地面による影響	なし	あり
速度範囲	0～最高速度	20km/h～110km/h
システム・コスト	高	低
タイヤ取り付けプロセスに対する脆弱性	あり	なし
各ホイールの電源	必要	不要

1 タイヤ空気圧モニタ・システムとは

本稿では，MEMS圧力センサの応用事例として，車のタイヤ圧力をモニタするTPMS（tire pressure monitoring system）を取り上げます．

TPMSは，タイヤの空気圧が低下することによって起こる問題を未然に防ぐためのシステムです．例えば，タイヤの空気圧が低下するとタイヤの寿命が短くなります．その状態で走行を続けた場合，タイヤがパンクしてしまう危険性があります．また，ブレーキをかけた際の制動距離が延びたり，コーナリング時のホールド性が低下したりします．

また，環境の問題についてもTPMSが貢献すると考えられています．タイヤが低圧力のまま車を走行させた場合，接地面積が大きくなり，摩擦が増大します．このため，燃費が低下します．さらに，最近はガソリン価格の高騰もあり，経済的な観点からもTPMSの効果が期待されています．

● ABS応用方式とタイヤ空気圧の直接測定方式

タイヤの空気圧をモニタする方法は二つあります．一つは間接式でブレーキ制御に使われているABS（anti-braking system）を応用した方法です．もう一つは直接式で，タイヤの空気圧を直接測定する方法です．方式の違いにより，それぞれメリット，デメリットがあります（**表1**）．

1）間接式

間接式は，ABSを拡張して判断する方法です．ABSは各タイヤの回転速度を測定し，それをブレーキ制御に利用します．制動時に，路面とタイヤの間の摩擦の大小によってタイヤがロックした場合，ABSはブレーキの制動力をリアルタイムで制御し，ロックを回避します．では，これを応用してTPMSを実現する方法を説明しましょう．

タイヤの回転速度は車両の走行速度とタイヤの半径により決定されます(**図1**)．

$$\text{タイヤの回転速度}=\text{車両走行速度}\div 2\pi r \cdots\cdots\cdots(1)$$

タイヤの空気圧が低下した場合，タイヤがつぶれるため，回転半径が小さくなります．その結果，空気圧の低下したタイヤだけ回転速度が速くなります．この回転速度の違いによってタイヤ空気圧を推定するわけです．

この方法は，既存のABSのソフトウェアを変更することで実現できるため，システム・コストの観点からは大きな魅力があります．しかし，計測精度の問題や4輪同時に圧力の低下が発生した場合の検出など，いくつかの問題点があります．とくにタイヤ空気圧が20％低下したことを検知しようとした場合，回転半径の変化は2％となり，正確な測定が難しくなります．

2）直接式

直接式は，圧力センサをタイヤの内部に設置して直接圧力を測定する方法です．当然，タイヤは回転するので，センサを内部に設置するためには解決しなければならない問題があります．センサに対する電源供給の問題や測定した情報を車(運転者)に伝達する方法などです．

その一方で，間接式と比較して圧力のモニタの精度が高いという点は大きな魅力です．現在，要求される圧力測定の精度を間接式で達成することは困難で，直接式を採用する方向に動いています．

● 米国ではTPMSの搭載が法律により義務づけられる

TPMSは当初，高級車のアクセサリとして搭載されていました．この時点では，あくまでも車に「安心感」というオプションを付加することが目的でした．

その一方で，タイヤの信頼性向上を図るため，ランフラット・タイヤの市場投入により，スペア・タイヤをなくす取り組みが行われていました．ランフラット・タイヤは，異常が起きても(たとえタイヤ空気圧がゼロになっても)一定距離を走行できるタイヤですが，この異常の検出のためにTPMSは必要な要素となっていきました．

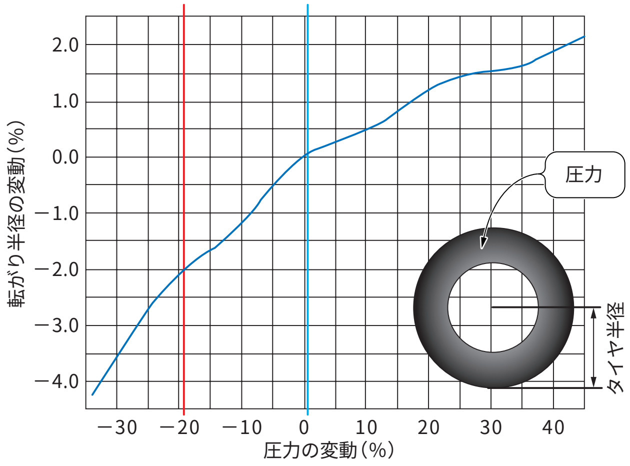


図1　タイヤ転がり半径と圧力の変動
回転半径が小さくなると，タイヤの回転速度は加速する．

さらにTPMSの推進を決定づけたのが，2000年に開始された米国Bridgestone/Firestone社の一部のタイヤに対するリコール[注1]でした．その結果，2001年にはTREAD(Transportation Recall Enhanced Accountability Document)法[注2]が制定され，安全面での規制が厳しくなりました．2004年4月には，以下に示すようなTPMSに関する具体的な規制内容が法令化されました．この規制にはメーカに対する罰則規定も含まれており，たいへん厳しい内容となっています．

- 空気圧が25％以上低下したら警告を行う
- いずれか1本のタイヤ(最大4本)搭載を推奨
- 50km/h～100km/hで走行し始めてから20分以内に空気圧のモニタを開始する．ただし，スペア・タイヤは除外
- 50km/h～100km/hで走行中の機能不良を20分以内に通知する
- 搭載率を3段階(2006年で50％，2007年で90％，2008年以降は100％)に分けて引き上げ

2 TPMSモジュールに必要な機能

こうした法令化に伴い，米国では好むと好まざるとにか

注1：同社のタイヤを装着した米国Ford社の自動車(Explorer)がタイヤの空気圧の低減によって横転するという事故が起こったことがきっかけ．Ford社も該当する自動車のリコールを行った．
注2：米国道路交通安全局(NHTSA：National Highway Traffic Safety Administration)の管轄で実施されている，自動車のリコールに関する規制．

1

かわらず，車両へのTPMSの搭載が進められています．一方で，TPMSの追加による車両価格への影響が消費者に理解されるかどうかが，自動車メーカの大きな懸念材料の一つとなっています．自動車メーカの企業努力のみでTPMSのコストを吸収することは容易ではなく，各部品メーカが用途に合った製品を低価格で提供する必要があります．

● TPMS用センサは10年稼働，耐環境性が求められる

センサ・メーカも例外ではありません．直接式のTPMSでは，センサはタイヤの中に設置され，圧力を直接測定します．タイヤの中に埋め込まれているため，センサが駆動するためには専用の電源（電池）が必要になります．また，タイヤ内に設置しているということは，その電池を頻繁に交換することができません．さらに，約10年間の稼働が条件となります．また，ホイール・バランスに影響を与えない軽量化も必要です．もちろん，上述した低価格であることも大きな条件です．信頼性の問題や，タイヤ固有の化学物質に対する適応性など，さまざまな条件を満足する必要があります．また，センサ情報をモニタリングするためのレシーバには，TPMSモジュール間の誤通信を回避するしくみが必要になります．

筆者ら（米国Freescale Semiconductor社）は，こうした仕様を満たしたTPMS専用センサを製品化しています．なお，TPMSでは空気圧だけでなく，タイヤ内温度の測定，電池電圧，加速度などのデータを測定し，それをECUに送信する必要があります．そのため，筆者らはセンシング機能だけでなく，信号処理や送受信機能までを1パッケージに封止したマイコン内蔵型のセンサ・チップ「PPXY82xx（開発コード名：Sebring）」を現在開発しています．

本センサ・チップは，圧力センサのほかに，温度センサ，電圧測定センサ，RF（高周波信号）送信回路，LF（低周波信号；30kHz～300kHz程度）受信回路，加速度測定用のPZT（チタン酸ジルコン酸鉛；圧電素子）を内蔵しています（図2）．それぞれの目的に合わせて使用することにより，いろいろなタイプのTPMSに対応します．

以下に，本センサ・チップの特徴を説明します．

● センサを使って各種データを測定し，ECUと通信する

外部の気圧と内部圧力の差（ゲージ圧）によって，適正なタイヤ空気圧力が設定されます．一定の空気量が入ったタイヤは，標高の差によってゲージ圧が変化します．また，温度によっても圧力は変化します．タイヤ空気圧を管理するためには，タイヤ内部の絶対圧力，タイヤ内の空気の温度，標高もしくは外気圧といった情報を用いて，式(1)に示す気体の状態方程式によってゲージ圧を算出します．

$$PV = nRT \quad \cdots\cdots (1)$$

P：圧力，V：体積，n：モル数，R：気体定数，T：温度

したがって，直接式のTPMSの場合，センサからタイヤ内部の絶対圧力と温度情報を，車両に搭載したECUに伝

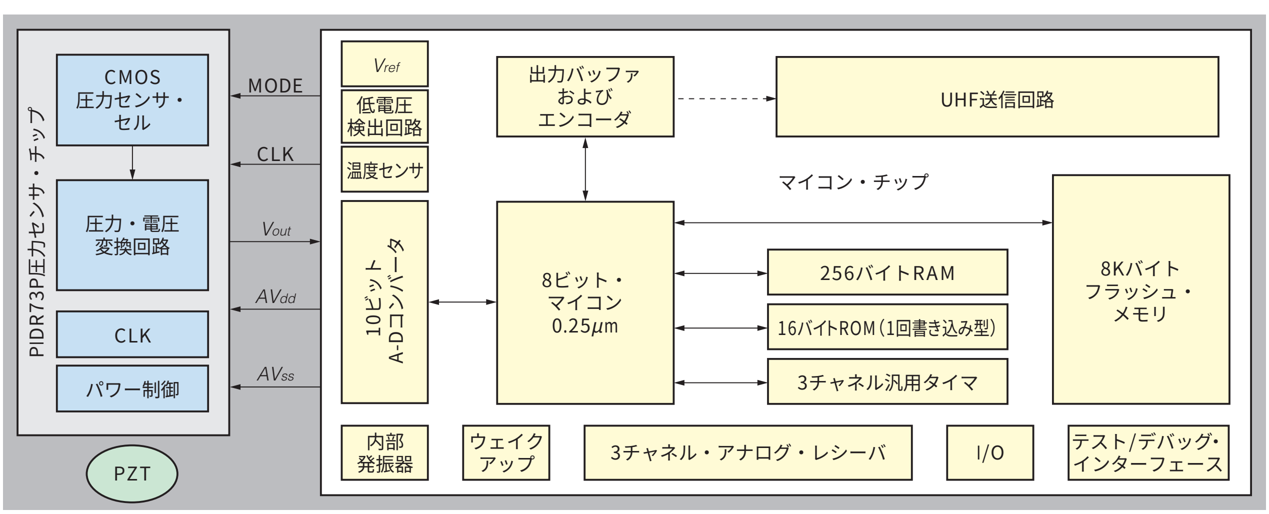


図2　PPXY82xx（Sebring）の内部ブロック図

本センサ・チップは，HCS08ベースのマイクロコントローラ（8Kバイトのフラッシュ・メモリ，256バイトのRAM搭載）や315MHz/433MHzの周波数帯に対応したPLLベースのRF送信回路，2チャネルのLF受信回路，供給電圧測定回路，低電圧検出回路，モーション・センサ検出用PZTなどを内蔵している．変調方式として，は9600/19200bps FSK（frequency shift keying），またはオプションで4800bps ASK（amplitude shift keying）に対応している．

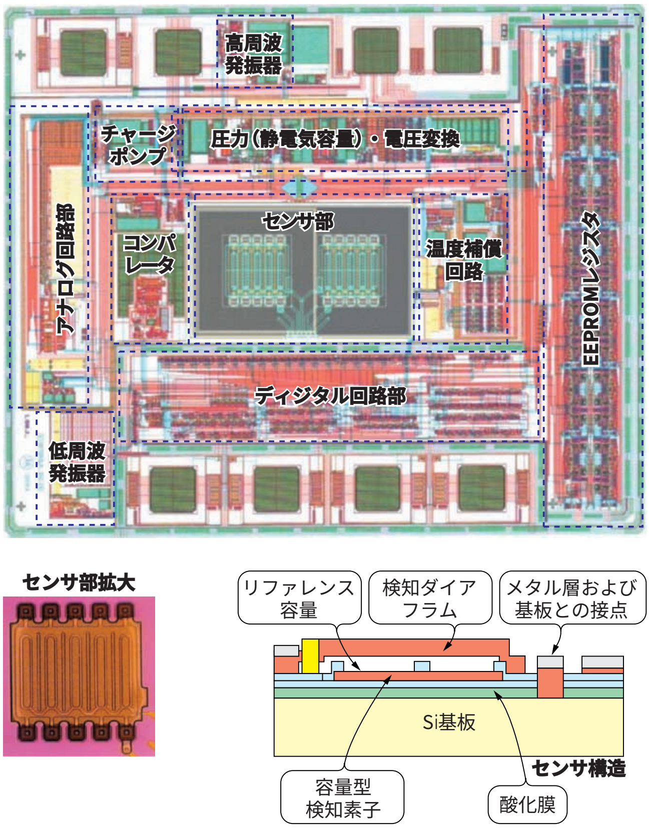


図3　静電容量型圧力センサ

圧力が加わると，ダイアフラムが押しつぶされ，容量が変化する．この容量の変化により圧力を検出する．

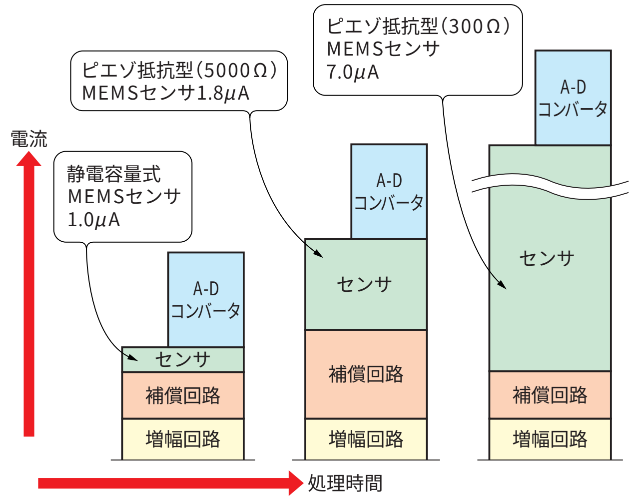


図4　圧力センサの種類と消費電力

ピエゾ抵抗式の場合，ブリッジ回路の電気抵抗の変動によって圧力を検出する．このとき，ブリッジ回路に電流を流すため，消費電力は静電容量式と比べて大きくなる．

達するしくみが必要になります．

1）圧力の測定

本センサ・チップは静電容量式を採用しています(図3)．圧力を検出するセルは，2層構造のポリシリコンで形成されています．圧力が加わると，ダイアフラムが押しつぶされる方向にセルがひずみます．その結果，上下のプレート間隔が小さくなり，容量が変化します．この容量の変化をもとに，圧力の値を求めます．なお，センサ部分はCMOSプロセスで製造できるため，ほかの周辺回路とともに一つのASICに集積することが容易です．

圧力の検出には，ピエゾ抵抗を用いる方法もあります．図4に，静電容量式とピエゾ抵抗式の比較を示します．この図からわかるように，静電容量式はピエゾ抵抗式と比べて消費電力の面で優位といえます．なお，圧力測定の際の消費電力については，センサ部以外にもアンプや補償回路，A-Dコンバータなどが大きな要因となります．

2）温度の測定

温度は，温度センサのPN接合部の順方向電圧(V_f)特性を利用して測定します．V_fは，物理的に絶対温度に対して比例関係になることがわかっています．これを利用することで，精度の高い温度測定を行えます．

3）電源電圧の測定

電源電圧の測定は，電池の出力電圧の低下を検知するために行います．転送されたデータをもとにECUが電圧低下と判断した場合，即座に運転者に異常を通知します．本センサ・チップでは，A-Dコンバータを使用して測定しています．

4）測定データの通信

測定した圧力や温度，電池電圧の情報は，RF通信によってECUに伝えられます．本センサ・チップで使用する周波数は，315MHz(北米)と433MHz(欧州)の2種類です．これは，キーレス・エントリ・システムに使用されている周波数と同じなので，一般には共通の受信機を利用します．

逆に，車両からの情報を受け取るために，本センサ・チップはLF受信回路を備えています．LF受信回路の消費電力は小さいため，電池駆動のTPMSモジュールには適しているといえます．LF受信回路は，コイルを使ってみずから誘導起電力を発生させます．その電圧をA-Dコンバータまたはコンパレータで検出し，信号として取り扱います．車両からTPMSモジュールに通信するという機能は，例えばTPMSモジュールに対してID番号を書き込む場合などが挙げられます．メーカやTPMSを取り付けるディーラなどで使用することができます．

● 50km/h以上かどうかを検知する

TPMSでは，車の速度を検出する必要があります．NHTSA（National Highway Traffic Safety Administration；米国道路交通安全局）が定めた法規により，時速50km/h以上に達すると，タイヤ空気圧の測定を行わなくてはなりません．通常，TPMSモジュールが自立的に速度を判断することになりますが，その方法はおもに次の二つが考えられています．

1）圧電素子を使った速度検出

圧電素子としてPZTを用いたモーション・センサ（動き検知センサ）によって速度を検出できます．このセンサは，振動が圧電素子に入力されると，その大きさに応じた電圧が発生します．また，振動は車の速度に比例して大きくなることも実験からわかっています．これを応用すると，センサ出力から車の速度を推定することができます．

しかし，振動の大きさは速度だけでなく路面の状態によっても変化します．アスファルト路面，コンクリート路面，石畳，未舗装路など，自動車が走行する路面にはさまざまな条件があります．実用化のためには，この点を考慮してシステムを最適化する必要があります．

2）加速度センサを使った速度検出

タイヤの回転による加速度を測定して，速度を検出できます．加速度センサの出力値から速度を算出します．

図5のグラフは加速度と自動車の速度の関係を計算した結果です．この加速度は，タイヤの回転によって中心方向に発生する遠心力を測定することになります．この場合，加速度センサの測定範囲が0～60gであれば，50km/hを検知するという要求を満足できます．ただし，高速走行時には1,000gを超える加速度にさらされるため，それに耐えるセンサが必要となります．

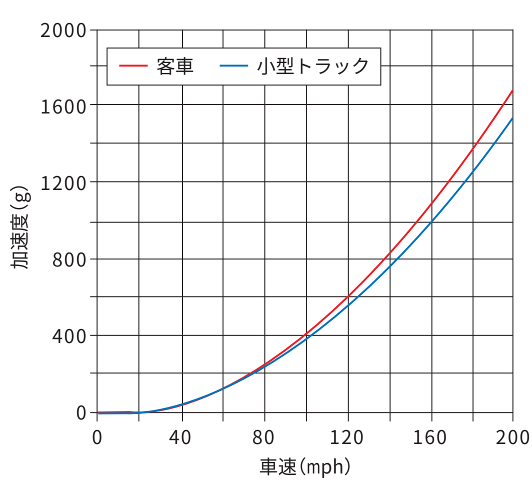


図5　車両速度と遠心力の関係

タイヤの回転によって中心方向に発生する遠心力を測定して，加速度を得る．50km/hを検出するのであれば，0～60gを測定できる加速度センサで十分である．なお，1mph（mile/h）　1.6km/h．

● 10年稼働し続けるための電池の選択

現在，多くのTPMSの開発者が採用しているのが電池駆動によるシステムです．タイヤの交換頻度や自動車の要求寿命を考慮して，10年間の稼働寿命が一般的になっています．10年間タイヤの中で動き続けることを考えると，大きな電池を設置して対応することも一つの方法と言えます．しかし，タイヤのホイール・バランスや電池価格の問題から，容量が500mAh程度の電池が限界と言えます．この電池は，決して巨大な電力を蓄えているわけではありません．したがって，システム全体で節電するくふうが必要になります．

電池には，大きくCRタイプ（フッ化黒鉛Li 1次電池）とBRタイプ（二酸化マンガンLi 1次電池）の二つがあります．CRタイプは低温での電圧低下が少ない反面，高温では85℃までの動作保証となってしまいます．一方，BRタイプは125℃までの動作保証となりますが，－40℃では出力電圧が低下してしまいます（表2）．

TPMS用の電池に要求される条件は－40℃～＋125℃となっています．これを考慮すると，BRタイプを使用することになりますが，低温時，つまり低電圧時であってもシステムは正常に動作しなければなりません．ところで，どのようなときに－40℃の低温に達するのでしょうか？　北米や北欧などでは，実際に－40℃の世界が存在します．しかし，タイヤの中が－40℃に到達するには，車そのものが冷え込む環境が必要です．例えば，極寒の車庫などに一晩駐車した場合などが考えられます．ただし，こうした状況にさらされ，冷え切ったタイヤであっても，走行を開始すれば比較的短時間で温度が上昇します．

PPXY82xxの場合，低温動作時に制約となるのはRF送

表2　バッテリの特性比較

電　池	CRタイプ	BRタイプ
動作温度（上限）	最大85℃	最大125℃
－40℃におけるパルス電流供給	可能	制限あり
熱膨張率	高い	低い
電池の密閉性	低い	高い
容量（mAh）	最大500	最大500
外形寸法	コイン・サイズ	コイン・サイズ
コスト	安い	やや高い

信回路です．低温時でもマイコンは正常に動作しているので，ひとまずその時点の測定値を記録しておきます．その後，温度が上昇，もしくは電池電源電圧が上昇した時点で，記録していた情報をECUに転送するといったくふうを施すことでこの問題は回避できます．

3 MEMSセンサを使ったTPMSの設計

PPXY82xxを使用した場合のTPMSモジュールの標準的な回路を図6に示します．センサ・チップに水晶発振子，LFコイル，アンテナを接続しています．アンテナ部は最適化が必要になります．また，モーション・センサを外付けすれば，車両速度の測定にも対応できます．

本センサ・チップは，Freescale社のHCS08コアをベースとしたマイコンを搭載しています．このマイコンには，8Kバイトのフラッシュ・メモリが内蔵されています．このメモリ領域を使ってユーザ独自の機能を設定します．これとは別に，ファームウェアおよび特性校正用に8Kバイトのフラッシュ・メモリを備えています．ファームウェアによって，最適な動作のための初期動作設定が行われます．なお，ソフトウェア開発環境として，米国Metrowerks社の「CodeWarrior」を使用します．

● 消費電力を考慮した動作モデルを考える

図7に，本センサ・チップ搭載のTPMSモジュールで基本的な処理を行った場合の消費電力を示します．

上述したように，TPMSモジュールは10年間駆動できるだけの電池寿命が必要です．圧力などの測定やRFによるデータ送信を頻繁に繰り返し行うと，10年の寿命はなかなか確保できません．そこで，安全性を損なわない範囲で間欠動作を行う手法が用いられます．例えば，駐車時は電池にとっては休息の時間となり，有効に利用しなければなりません．そこで駐車中は動作間隔を大きくすることで，電池消耗を抑えます(表3)．

まず，TPMSは実際にどのようなケースで必要となるのかを考えてみましょう．

例えば，短時間で極端に空気圧が低下する場合，運転者が即座に気づくか，もしくはすぐに事故につながる恐れがあります．このケースではTPMSによる未然防止の効果が期待できません．あまりにも突然発生するからです．

基本的に，TPMSは低圧力の状態で長時間走行を継続することを避けるためのシステムといえます．つまり頻繁に圧力をモニタする必要はないということです．したがって，車が走行中は約1分ごとに1回，駐車中は1時間に1回程度のモ

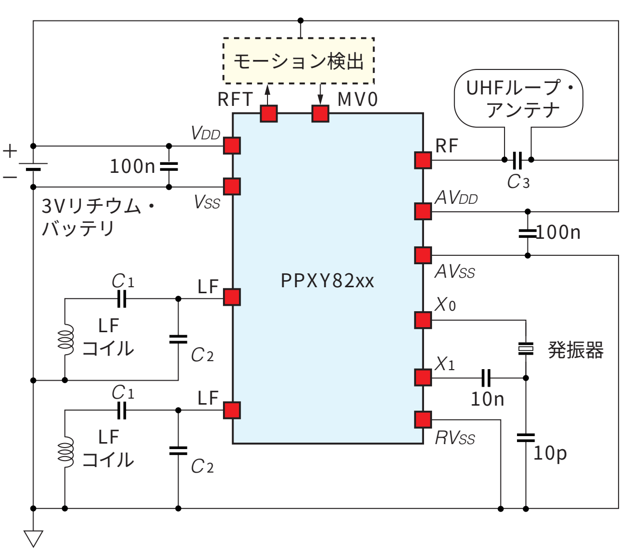


図6 PPXY82xxを用いたTPMSモジュールの標準回路
センサ・チップに水晶発振子，LFコイル，アンテナを接続している．モーション・センサを外付けすれば，車両速度の測定にも対応．

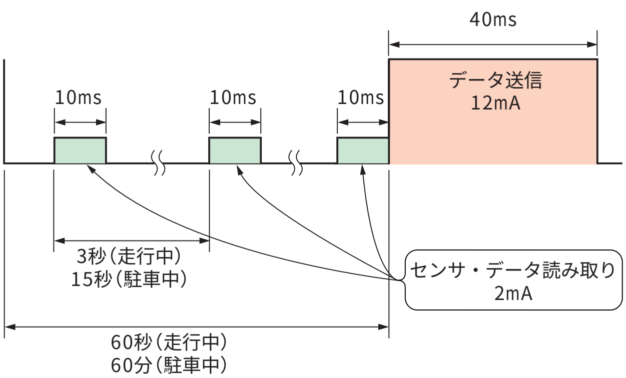


図7 MPTSモジュールの基本的な処理ごとの消費電力
センサ・データの読み取りに10msかかり，その間に消費される電流は2mA．ECUへのデータの送信には40msかかり，その間に消費される電流は12mA．

表3 動作仕様の例

パラメータ		値
寿　命		10(年)/87,600(時間)/200,000(km)
平均速度		55(km/h)
動作時間		3,636(時間)/電池寿命の4(%)
標準ドライブ・サイクル		1日当たり4回の走行
データ測定間隔	走行中	3(秒)
	駐車中	15(秒)
データ送信間隔	走行中	60(秒)
	駐車中	60(分)
データ送信フォーマット		9,600(bps)/90(ビット)/4(フレーム)

表4
TPMSの稼働モデル

モジュール部位	処理ごとの電流	処理に必要な時間	処理に必要なバッテリ容量
圧力センサ	1.5mA	150μs	225nAs
温度センサ	0.6mA	100μs	60nAs
電圧検出	0.6mA	100μs	60nAs
A-Dコンバータ	2.0mA	24μs	48nAs
データ処理部	0.1mA～4.0mA	1μs～40μs(1命令当たり)	8nAs(1命令当たり)
発振器(ウェイクアップ時)	0.6μA	－(持続)	53mAh(10年間で)
RF送信部	9mA～12mA	10ms～100ms	9×10^4nAs～12×10^5nAs
不揮発メモリ	1μA(1ビット当たり)	200μs	0.2nAs(1ビット当たり)
LF受信部	1μA～5μA	100ms～10年	100nAs(処理一つ当たり)～440mAh(10年間で)
パワー・マネージメント回路	1μA	100ms～10年	100nAs(処理一つ当たり)～90mAh(10年間で)
バッテリ	最大1%/年	10年	10%(10年間で)
シリコンの漏れ電流	100nA	10年	9mAh(10年間で)



(a) ホイール(リム)装着(現在)　(b) タイヤ・バルブ装着(次世代)　(c) タイヤ内(将来の可能性)

図8
TPMSの取り付け方法
現在主流となっている取り付け方法は，ホイールのリム部分にベルトで締め付けるタイプ．今後はバルブと一体化したモジュールに，そして将来的にはタイヤに埋め込むタイプになると考えられている．

ニタリングで，求められる要求を実現できます．これらのことをもとに設定したTPMSの稼働モデルを**表4**に示します．

● ひと言で“TPMS”といってもシステム構成はさまざま

現在主流となっているTPMSモジュールの取り付け方法は，ホイールのリム部分にベルトで締め付けるタイプです(**図8**)．今後はバルブと一体化したモジュールが一般的になり，将来はタイヤに埋め込むタイプになると考えられています．

車載ECUとTPMSモジュールの通信にはいくつかの方法があります．その中でポイントになるのは，問題となる車輪の位置の認識です．以下に代表的な例を説明します．

1）単純な警告を行うシステム

このシステムは，どれか1本のタイヤで空気圧低下が発生した場合に警告を発するものです(**図9**)．このシステムでは，どの車輪に異常が発生したのかを知るために，運転者が車を降りて1本1本タイヤを確認する必要があります．この方式のいちばんのメリットはシステム・コストが安いことです．

TPMSモジュールからの信号を受けると，ECUが警告表示を出すように判断します．なお，この方法ではTPMSモジュールは自立的に動作する必要があります．したがって，モジュールは車が走行しているのか，あるいは駐車しているのかという判断も行う必要があります．

2）異常タイヤの位置を表示するシステム

このシステムでは，車輪の位置認識を行う機能が必要です(**図10**)．さらに，タイヤはある頻度で回転するため，取り付け位置を再認識する機能も必要になります．当然，各タイヤ(TPMSモジュール)ではID認識が行われていますが，自動的に位置を認識する機能が必要となります．この方法は，各システム・メーカでさまざまな方法が考えられており，まるで特許合戦の様相を呈しています．

このシステムでは，各TPMSモジュールが速度判断とタイヤの位置を自律的に認識する機能も必要になります．

3）異常表示以外に各タイヤの圧力を表示するシステム

これは，**2)**の機能に圧力表示を追加したタイプのシステムです(**図11**)．**2)**のシステムと同じTPMSモジュールの機能で実現できます．ただし，ECUの処理と，運転席に圧力を表示するディスプレイを準備する必要があり，システム・コストは高くなります．

4）LFを使ったタイヤの位置認識システム

この方法では，各タイヤに専用のLF発信機を設置し，タイヤの位置を認識します(**図12**)．LFはRFに比べて送信距離が短く，各タイヤの近くに送信機を設置します．こ

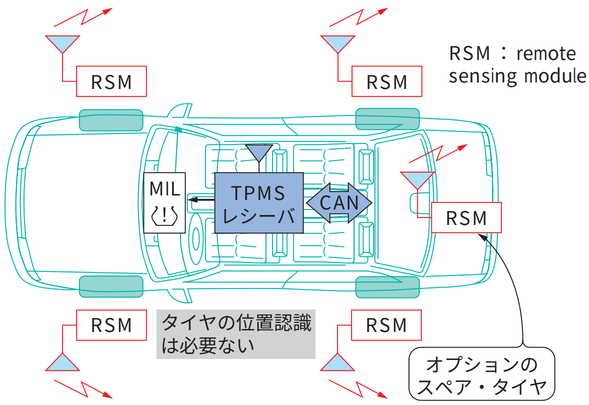


図9　単純な警告を行うシステム
1本のタイヤに異常が起きたことを知らせるが，どのタイヤが異常なのかは，運転者が車を降りて調べてみないとわからない．システム・コストは安い．

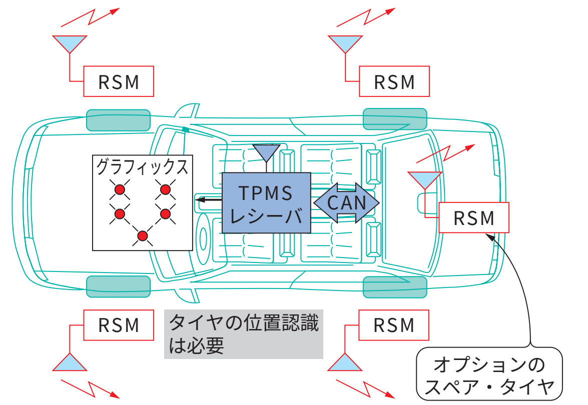


図10　異常タイヤの位置を表示するシステム
このシステムでは，車輪の位置認識を行う機能が必要になる．また，各TPMSモジュールが速度判断とタイヤの位置を自律的に認識する機能も必要．

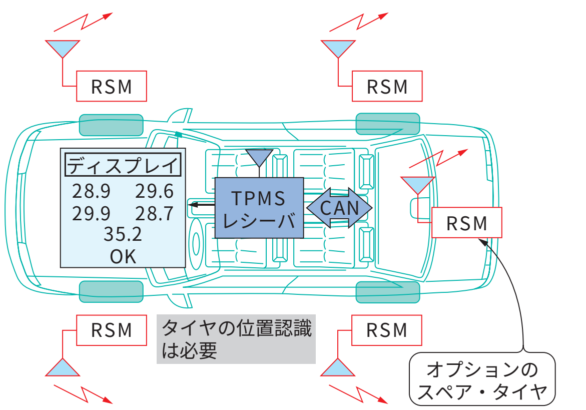


図11　異常表示に加えて各タイヤの圧力も表示するシステム
図10のシステムに圧力表示機能を追加した．TPMSモジュールの機能は同程度でよいが，表示パネルなどの追加によりシステム・コストが高くなる．

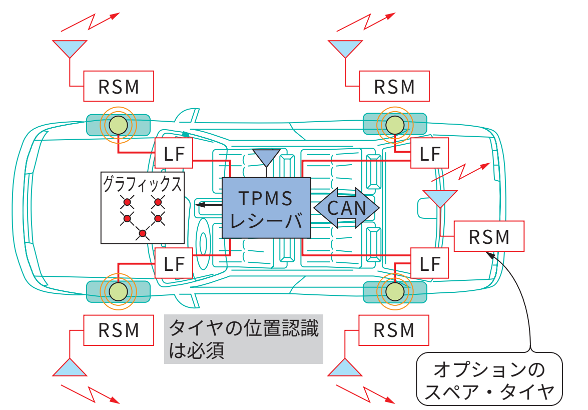


図12　LFを使ったタイヤの位置認識システム
LFをトリガとして，気圧などの測定を行うことができるため，TPMSに自立的な機能を設ける必要がなくなるかもしれない．そうなれば，TPMSモジュールとしてはもっとも単純で安価なシステムとなる．

れによって，選択的にタイヤに向かって通信を行うことができます．その結果，ECUは各LF送信機を制御することができるため，順番に通信することによってタイヤの位置を認識できます．

また，LFをトリガとして，気圧などの測定を行うこともできます．このことは，TPMSに自立的な機能を設ける必要がなくなる可能性を秘めています．そうなれば，TPMSモジュールとしてはもっとも単純で安価なシステムと言えます．

● 将来の目標はバッテリレス

今後，TPMS機能はますます進化していくと考えられます．現在の方法で障害になっているのは電池を使用しているという点です．バッテリレスが次の技術になることはまちがいありません．しかし，そのためには越えなければならないハードルがいくつもあります．

一つは電力供給の問題です．LFを使った方法はすでに実証されています．しかし，発信機を各タイヤの近くに設置するにはコスト面で大きな負担を伴います．したがって，このシステムは一部の高級車か高性能車のみの搭載になると筆者は考えています．最大でも全体の20％に留まるものと予想しています．

フリースケール・セミコンダクタ・ジャパン
まつした・やすし

<筆者プロフィール>
松下靖．1986年，モトローラに入社．品質保証を担当．1996年より加速度センサ用ASICのプロダクト・エンジニアに従事．2004年からセンサ製品のマーケティング担当．

1